



Original Article

## Dampak konsentrasi subletal dan frekuensi aplikasi insektisida fipronil terhadap populasi wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens* Stal.) pada padi varietas IR64 dan Ciherang

The effect of sublethal concentrations and application frequency of fipronil insecticide on the population of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal.) on rice varieties IR64 and Ciherang

Awaluddin<sup>1\*</sup>, Waode Siti Anima Hisein<sup>1</sup>, Nuriadi<sup>1</sup>, Siska Efendi<sup>2\*</sup>, Dadang<sup>3</sup>, Ruly Anwar<sup>3</sup>, Giyanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia, Jalan HEA Mokodompit, Kota Kendari 93232, Indonesia, <sup>2</sup>Departemen Budidaya Tanaman Perkebunan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Jalan Limau Manis, Padang 25163, Indonesia, <sup>3</sup>Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

### Penulis korespondensi:

Awaluddin  
(awaluddin@uho.ac.id)  
Siska Efendi  
(siskaefendi@agr.unand.ac.id)

**Diterima:** Juli 2025

**Disetujui:** Januari 2026

### Sitasi:

Awaluddin, Hisein WSA, Nuriadi, Efendi S, Dadang, Anwar R, Giyanto. 2026. Dampak konsentrasi subletal dan frekuensi aplikasi insektisida fipronil terhadap populasi wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens* Stal.) pada padi varietas IR64 dan Ciherang. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 23(1):39–48. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.23.1.39>.

### ABSTRAK

Fipronil merupakan insektisida yang banyak digunakan dalam pengendalian hama wereng batang coklat (WBC) (*Nilaparvata lugens* Stal.) di Indonesia. Penggunaan fipronil di tingkat petani seringkali tidak sesuai anjuran sehingga menimbulkan kekhawatiran terjadinya resurgensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi subletal dan frekuensi aplikasi insektisida fipronil terhadap peningkatan populasi WBC pada dua varietas padi, yaitu IR64 dan Ciherang. Sampel WBC yang digunakan berasal dari Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Penelitian terdiri atas uji toksisitas untuk menentukan konsentrasi subletal fipronil, yaitu pada tingkat LC<sub>15</sub>, LC<sub>25</sub>, dan LC<sub>40</sub>, air sebagai kontrol. Masing-masing perlakuan diaplikasikan sebanyak 1, 2, dan 3 kali dengan selang waktu 5 hari antar aplikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan konsentrasi subletal (LC<sub>15</sub>, LC<sub>25</sub>, dan LC<sub>40</sub>) memicu fenomena hormoligosis yang ditandai dengan peningkatan signifikan pada persentase penetasan telur di semua tingkat konsentrasi dibandingkan dengan kontrol. Persentase penetasan telur tertinggi terdapat pada perlakuan LC<sub>15</sub> dengan varietas Ciherang, yakni 82,55%. Meskipun peningkatan konsentrasi dan frekuensi aplikasi (1–3 kali) secara linear meningkatkan mortalitas nimfa hingga 94,44% pada perlakuan LC<sub>40</sub>, namun pada dosis rendah LC<sub>15</sub>, peningkatan frekuensi aplikasi justru menstimulasi lonjakan populasi nimfa F1. Populasi nimfa tertinggi terdapat pada varietas Ciherang dengan perlakuan LC<sub>15</sub> dua kali aplikasi, yakni 1197,33 individu. Temuan ini mengonfirmasi bahwa aplikasi fipronil pada tingkat subletal, terutama pada varietas rentan, tidak hanya gagal mengendalikan WBC tetapi justru memicu resurgensi melalui peningkatan keberhasilan penetasan telur dan stimulasi reproduksi generasi berikutnya.

**Kata kunci:** keperidian, mortalitas, resistensi, resugensi, toksisitas

### ABSTRACT

Fipronil is an insecticide that is widely used in controlling brown planthopper (BPH) pests in Indonesia. The use of fipronil by farmers is often not in accordance with recommendations, raising concerns about pest resurgence. This study aims to investigate the effect of sublethal concentrations and application frequency of fipronil insecticide on the population growth of the BPH, *Nilaparvata lugens*, on two rice varieties, IR64 and Ciherang. The BPH samples used came from Karawang Regency, West Java. The study began with a toxicity test to determine the sublethal concentration of fipronil, namely at the LC<sub>15</sub>, LC<sub>25</sub>, and LC<sub>40</sub> levels. Each treatment was applied 1, 2, and 3 times with an interval of 5 days between applications. The results showed that exposure to sublethal concentrations (LC<sub>15</sub>, LC<sub>25</sub>, and LC<sub>40</sub>) triggered hormoligosis, characterized by a significant increase in the percentage of egg hatching at all concentration levels compared to the

control. The highest egg hatching percentage was found in the LC<sub>15</sub> treatment with the Ciherang variety, namely 82.55%. Although increasing the concentration and frequency of application (1–3 times) linearly increased nymph mortality to 94.44% in the LC<sub>40</sub> treatment, at the low dose of LC<sub>15</sub>, increasing the frequency of application actually stimulated a surge in the F1 nymph population. The highest nymph population was found in the Ciherang variety with LC<sub>15</sub> treatment with two applications, namely 1197.33 individuals. These findings confirm that the application of fipronil at sublethal levels, especially in susceptible varieties, not only fails to control BPH but actually triggers resurgence through increased egg hatching success and stimulation of reproduction in the next generation.

**Key words:** fertility, mortality, resistance, resurgence, toxicity

## PENDAHULUAN

Wereng batang coklat (WBC) (*Nilaparvata lugens* Stal) merupakan hama utama tanaman padi di Indonesia yang tergolong sulit dikendalikan. Pengendalian kimia menggunakan insektisida masih menjadi cara utama yang paling efisien untuk pengendalian WBC (Wu et al. 2018). Insektisida yang banyak digunakan untuk mengendalikan WBC, yakni fipronil (Bonmatin et al. 2015). Insektisida tersebut termasuk kelompok fenilpirazol berspektrum luas yang banyak digunakan dan dapat mengendalikan berbagai serangga (Pino-Otín et al. 2021). Bahkan dilaporkan efektif terhadap lebih dari 250 serangga hama (Bhatt et al. 2023). Fipronil banyak digunakan untuk mengendalikan WBC karena aktivitas insektisidanya yang tinggi dan toksisitasnya yang rendah terhadap mamalia (Tian et al. 2019). Selain itu, insektisida tersebut mudah aplikasikan dan fleksibilitasnya yang lama, serta sifat sistemiknya yang memastikan penyebarannya ke seluruh bagian tanaman target (Bonmatin et al. 2015). Fipronil mengendalikan hama terutama melalui racun perut, kontak, inhalasi, dan tidak menimbulkan risiko apa pun terhadap keamanan tanaman (Wu et al. 2015). Fipronil menghambat saluran klorida reseptor asam *gamma-aminobutyric* (GABA), mengganggu aliran masuk neuron normal dan mengakibatkan akumulasi GABA pada sambungan sinaptik yang mengakibatkan hipereksitasi dan paralisis yang tidak terkontrol yang akhirnya menyebabkan kematian (Bhatt et al. 2023).

Setelah aplikasi di lapangan, serangga jarang terpapar oleh satu dosis letal yang seragam. Hal ini terjadi karena insektisida dapat terdegradasi seiring waktu atau menguap bersama angin. Akibatnya, konsentrasi insektisida yang awalnya digunakan untuk membunuh hama menurun hingga menjadi subletal (Vryzas 2018). Selain itu, keterbatasan pengetahuan, petani sering kali menyebabkan pestisida digunakan tidak sesuai dengan dosis yang dianjurkan sehingga WBC terpapar dosis subletal. Secara umum disebabkan oleh berbagai proses abiotik dan biotik, konsentrasi

insektisida dapat menjadi subletal dalam ruang dan waktu (Müller 2018). Hanya saja efek dosis residu rendah dari insektisida dapat memengaruhi spesies target (Fernandes et al. 2016). Paparan insektisida dosis rendah dapat menyebabkan efek yang berbeda pada serangga.

Paparan insektisida pada konsentrasi subletal dapat memicu berbagai respons fisiologis dan perilaku pada serangga hama, meskipun tidak menyebabkan kematian secara langsung. Dampak ini dapat mengubah perilaku, fisiologi, dan reproduksi serangga (Margus et al. 2019). Perlakuan spirotetramat pada konsentrasi subletal menyebabkan lama perkembangan pradewasa *Brevicoryne brassicae* Linnaeus dan *Frankliniella occidentalis* Pergande lebih lama, sementara lama hidup dewasa, dan reproduksi generasi F1 menurun (Liang et al. 2021; Iftikhar et al. 2022). Dosis subletal pestisida sering memengaruhi biokimia dan neurokimia serangga karena penghambatan enzim dan protein sinyal, dengan efek lanjutan pada fisiologi (Bendahou et al. 1999). Efek reproduksi yang paling umum dari dosis subletal meliputi penurunan kesuburan (Bendahou et al. 1999), tingkat bertelur yang lebih rendah, atau penurunan jumlah induk secara umum (Milone & Tarpy 2021). Konsentrasi subletal, klorantraniliprole menurunkan kesuburan *Spodoptera frugiperda* Smith (Wu et al. 2022), *Spodoptera cosmioides* Walker (Lutz et al. 2018), dan *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Zhang et al. 2013). Jumlah telur yang diletakkan dapat turun hingga 45% selama beberapa generasi (Milone & Tarpy 2021). *Bemisia tabaci* (Gennadius) yang terpapar konsentrasi subletal imidakloprid dan bifentrin mengakibatkan ekskresi embun madu dan tingkat kesuburan yang secara signifikan lebih rendah (He et al. 2013). Konsentrasi subletal spirotetramat dan cyantraniliprole menyebabkan malformasi pada generasi F1 *Aphis gossypii* Glover (Kim et al. 2024).

Efek subletal insektisida juga dilaporkan terhadap WBC. Subletal insektisida baru fenmezo-ditiaz menghambat kesuburan dan memperluas efek ini ke

generasi F1 WBC (Zhang et al. 2025). Triflumezopyrim memiliki efek subletal pada WBC dan wereng coklat kecil (*Laodelphax striatellus* (Fallén)) (Zhang et al. 2020). Efek subletal fipronil juga dilaporkan pada beberapa hama. Paparan subletal fipronil dapat menyebabkan berbagai efek terhadap WBC, termasuk perubahan perilaku makan, reproduksi, dan kemungkinan, perkembangan resistensi insektisida (Awaluddin et al. 2024). Paparan subletal insektisida tersebut juga menyebabkan gangguan pembelajaran penciuman pada serangga (Rosa et al. 2024). Ultrastruktur sel otak WBC rusak akibat perlakuan pada berbagai konsentrasi fipronil (Ling & Zhang 2011). Aplikasi fipronil  $1,25 \times 10^{-2}$   $\mu\text{g}$  dan  $7,50 \times 10^{-3}$   $\mu\text{g}$  secara signifikan menstimulasi kesuburan WBC (Koskinioti et al. 2019).

Hanya saja pengujian tersebut seringkali terbatas pada satu faktor tunggal dan tidak memperhatikan varietas tanaman padi yang digunakan. Penggunaan varietas padi yang memiliki karakter tahan atau toleran tentu akan memengaruhi frekuensi penyemprotan pestisida. Varietas padi yang resisten cenderung disemprot dengan insektisida oleh petani yang umumnya tidak menyadari sifat resistensi yang terkait dengan varietas yang dipilih (Horgan & Peñalver-Cruz 2022). Semakin sedikit frekuensi penyemprotan, kemungkinan paparan insektisida subletal tentu akan semakin berkurang dan sebaliknya. Menurut Yin et al. (2008) bahwa persentase imago brakiptera dan laju reproduksi betina dewasa yang berkembang dari nimfa yang memakan tanaman yang diberi insektisida bervariasi secara signifikan tergantung pada kultivar padi, jenis insektisida, dan konsentrasinya. Oleh karena itu, insektisida dapat secara langsung mengurangi efektivitas varietas padi yang resisten terhadap WBC (Horgan et al. 2021). Namun, hingga saat ini belum ada kajian sistematis tentang interaksi antara konsentrasi subletal fipronil, frekuensi aplikasi, dan varietas padi yang berbeda. Untuk itu, perlu ditentukan efek subletal suatu insektisida untuk merancang strategi pengelolaan resistensi dan resurgensi secara preventif, seperti waktu terbaik untuk menyemprot insektisida, waktu aplikasi setiap musim tanam, dan insektisida yang mungkin digunakan secara bergantian atau dirotasi (Zhang et al. 2025). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi subletal dan frekuensi aplikasi insektisida fipronil terhadap peningkatan populasi WBC pada dua varietas padi, yaitu IR64 dan Ciherang.

## BAHAN DAN METODE

### Persiapan bahan tanaman dan perbanyakan WBC

Benih padi IR64 sebanyak 50 gram dicuci, kemudian direndam dalam air selama 24 jam. Benih tersebut

kemudian disemai di dalam stoples plastik ukuran 15 cm  $\times$  20 cm yang ditutup dengan kain kasa hingga berkecambah. Bibit padi yang telah berumur 7 hari setelah semai (HSS) digunakan sebagai sumber pakan dan media peneluran bagi WBC. Sebanyak 50–70 pasang imago WBC yang diperoleh dari lapangan ditempatkan secara terpisah pada bibit padi untuk proses peneluran. Satu pasang imago ditempatkan pada satu stoples berisi bibit padi, pemeliharaan dilakukan sampai imago tersebut kawin dan meletakkan telur. Setelah telur menetas, nimfa dipindahkan ke stoples baru yang sebelumnya telah diisi bibit padi. Bibit padi diletakkan secara terbalik agar nimfa yang baru menetas dapat berpindah dengan sendirinya ke tanaman baru. Bibit diganti setiap minggu hingga nimfa berkembang menjadi imago. Imago yang baru muncul kemudian dipindahkan ke dalam stoples plastik berisi bibit padi berumur 7 HSS untuk perbanyakan ke generasi berikutnya. Prosedur ini diulang hingga WBC mencapai generasi keempat, yang selanjutnya digunakan dalam pengujian penentuan konsentrasi subletal.

### Penentuan konsentrasi subletal insektisida terhadap WBC

Bahan aktif insektisida yang digunakan dalam pengujian ini adalah fipronil dengan merek dagang Apronil 50 SC. Penentuan konsentrasi subletal dilakukan melalui uji hayati (*bioassay*) dengan metode celup (*dipping method*) (He et al. 2022). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi insektisida dan tingkat mortalitas WBC, dengan kisaran kematian 5 hingga 95%. Uji dilakukan menggunakan 10 variasi konsentrasi dan kontrol, yaitu 0,003906; 0,007813; 0,015625; 0,03125; 0,0625; 0,125; 0,25; 0,5; dan 1 ml/l air, yang setara dengan kisaran 0,195 hingga 50 ppm bahan aktif insektisida. Air digunakan sebagai kontrol.

Pengujian dilakukan menggunakan gelas plastik dengan diameter 8 cm dan tinggi 15 cm. Gelas plastik pertama digunakan sebagai wadah dan diisi dengan 5 ml air. Gelas plastik kedua dilubangi dengan diameter 3 mm dan diberi alas kertas tisu, kemudian dimasukkan ke dalam gelas pertama. Bibit padi varietas Ciherang berumur 7 HSS dicelupkan ke dalam larutan insektisida selama 10 detik dan ditiriskan selama 10 menit. Selanjutnya, 10 bibit padi yang telah direndam dimasukkan ke dalam gelas plastik yang sudah disiapkan dan diberi label. Kemudian, 10 individu nimfa WBC instar ke-3 dilepaskan ke dalam gelas tersebut, yang ditutup dengan kain kasa. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

Mortalitas WBC diamati pada 24, 48, dan 72 jam setelah perlakuan (JSP). Data mortalitas kemudian

dianalisis menggunakan metode probit dengan bantuan aplikasi PoloPlus untuk menentukan nilai  $LC_{15}$ ,  $LC_{25}$ , dan  $LC_{40}$ . Analisis hanya dilakukan jika mortalitas pada kontrol kurang dari 10%. Ketiga konsentrasi subletal yang diperoleh dari analisis ini kemudian digunakan dalam pengujian lanjutan guna mengevaluasi pengaruh frekuensi dan konsentrasi aplikasi insektisida terhadap perkembangan populasi WBC pada varietas padi IR64 dan Ciherang.

### Pengujian pengaruh konsentrasi subletal dan frekuensi aplikasi terhadap perkembangan populasi WBC

Penelitian semi lapang dilakukan di rumah kaca, menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi dan frekuensi aplikasi subletal. Bibit padi varietas IR64 dan Ciherang ditanam dalam pot plastik berukuran diameter 30 cm dan tinggi 25 cm yang diisi media tanah sawah. Setelah penanaman, pot ditutup menggunakan sungkup dari mika plastik transparan berukuran diameter 25 cm dan tinggi 70 cm. Bibit padi dipelihara hingga mencapai usia 30 HST, dengan penutup kain kasa untuk melindungi tanaman. Masing-masing sebanyak 30 individu nimfa instar ke-3 dimasukkan ke dalam pot perlakuan yang berisi bibit tanaman padi varietas IR64 atau Ciherang berumur 30 HST. Aplikasi konsentrasi subletal insektisida fipronil dilakukan dengan menggunakan *handsprayer*. Frekuensi aplikasi setiap perlakuan sebanyak 1, 2, dan 3 kali dimulai pada fase nimfa instar ke-3 dengan interval waktu 5 hari. Infestasi WBC dan penyemprotan dilakukan pada hari yang berbeda. Volume semprot untuk setiap perlakuan sebanyak 10 ml/pot. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Pengamatan mortalitas dilakukan pada hari ke-4, 6, 9, 11, 14, 16, dan 19 setelah infestasi WBC pada tanaman padi. Jumlah imago yang muncul dari

setiap perlakuan diamati hingga muncul nimfa generasi pertama (F1). Nimfa yang muncul dihitung dengan cara diambil dari tanaman dan dipindahkan ke dalam stoples yang telah disiapkan. Setelah tidak ditemukan nimfa baru selama tujuh hari berturut-turut, pelepah daun dan batang padi dibelah untuk menghitung jumlah telur yang gagal menetas (Heinrichs & Barrion 2004).

### Analisis data

Analisis untuk menentukan  $LC_{15}$ ,  $LC_{25}$ , dan  $LC_{40}$  menggunakan perangkat Polo-PC. Data mortalitas, jumlah nimfa, jumlah telur dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dengan perangkat lunak SPSS versi 16.0 untuk Windows, dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey pada tingkat signifikansi 5%.

### HASIL

#### Pengaruh konsentrasi subletal fipronil terhadap WBC

Hasil analisis probit berdasarkan mortalitas WBC pada 24 dan 48 JSP menunjukkan nilai  $LC_{15}$ ,  $LC_{25}$ , dan  $LC_{40}$  lebih tinggi dibandingkan dengan pengamatan pada 72 JSP. Nilai  $LC_{15}$ ,  $LC_{25}$ , dan  $LC_{40}$  pada pengamatan 72 JSP, yakni 2,11; 3,62; dan 6,76 ppm (Tabel 1).

#### Peningkatan populasi WBC setelah aplikasi insektisida fipronil dengan beberapa frekuensi pada varietas IR64 dan Ciherang

Mortalitas tertinggi terdapat pada perlakuan  $LC_{40}$  dengan aplikasi tiga kali pada varietas IR64, yakni 94,44% dan Ciherang, yakni 88,89%. Mortalitas terendah terdapat pada kontrol dengan nilai 2,22% dan 5,56% (Tabel 2). Paparan insektisida fipronil pada konsentrasi  $LC_{40}$  sebanyak tiga kali aplikasi terbukti sangat efektif menurunkan populasi WBC. Mortalitas WBC pada perlakuan  $LC_{15}$ ,  $LC_{25}$ , dan  $LC_{40}$ , meningkat seiring dengan bertambahnya frekuensi aplikasi

**Tabel 1.** Penduga hubungan konsentrasi subletal insektisida fipronil dengan mortalitas wereng batang coklat

**Table 1.** Estimated relationship between sublethal concentrations of the insecticide fipronil and mortality of brown planthopper

Waktu pengamatan (Observation time) (JSP) <sup>a</sup>	$a^b \pm GB^d$	$b^c \pm GB^d$	$LC_{15}^e$ SK <sup>f</sup> 95% (ppm)	$LC_{25}^e$ SK <sup>f</sup> 95% (ppm)	$LC_{40}^e$ SK <sup>f</sup> 95% (ppm)
24	-2,32 ± 0,29	1,02 ± 0,24	18,47 (10,25–38,98)	41,92 (22,67–141,94)	108,76 (48,20–748,39)
48	-1,78 ± 0,19	1,18 ± 0,17	4,28 (2,49–6,4)	8,69 (5,75–12,97)	19,79 (13,24–33,75)
72	-1,54 ± 0,18	1,55 ± 0,18	2,11 (1,33–2,97)	3,62 (2,51–4,87)	6,76 (5,03–9,06)

<sup>a</sup>JSP: jam setelah perlakuan (*hours after treatment*); <sup>b</sup>a: intersep garis regresi probit (*intercept of the probit regression line*); <sup>c</sup>b: kemiringan garis regresi probit (*slope of the probit regression line*); <sup>d</sup>GB: galat baku (*standard error*); <sup>e</sup>LC: *lethal concentration*; <sup>f</sup>SK: selang kepercayaan (*confidence interval*).

insektisida konsentrasi subletal. Laju peningkatan populasi pada varietas IR64 menunjukkan pola fluktuatif setelah aplikasi konsentrasi LC<sub>15</sub>, terbukti dengan penurunan populasi setelah dua kali aplikasi, yakni 967,67 menjadi 820,67 individu. Populasi WBC kemudian meningkat kembali pada aplikasi berikutnya menjadi 1090 individu. Pola fluktuatif yang sama juga diamati pada varietas Ciherang, pada frekuensi aplikasi

dua kali, yakni 793,67; 1197,33; dan 677,67 individu. Sebaliknya, pada perlakuan LC<sub>25</sub> dan LC<sub>40</sub>, rata-rata laju peningkatan populasi generasi F<sub>1</sub> menurun seiring peningkatan frekuensi aplikasi insektisida (Tabel 2). Populasi WBC pada semua frekuensi aplikasi perlakuan LC<sub>15</sub>, serta satu kali aplikasi pada LC<sub>25</sub>, LC<sub>40</sub>, dan kontrol, tidak menunjukkan perbedaan signifikan terhadap populasi generasi F1 (F = 1,45; p = 0,123) (Tabel 3).

**Tabel 2.** Pengaruh aplikasi subletal insektisida fipronil terhadap mortalitas nimfa instar pertama wereng batang coklat pada varitas IR64 dan Ciherang

**Table 2.** Effect of sublethal application of fipronil insecticide on the mortality of first instar nymphs of brown planthopper on varieties IR64 and Ciherang

Konsentrasi subletal (Sublethal concentration) (ppm)	Frekuensi aplikasi (Application frequency)	Varietas IR64		Varietas Ciherang	
		Mortalitas (Mortality) (%)	Nimfa (rata-rata ± SD) (Nymph (mean ± SD))	Mortalitas (Mortality) (%)	Nimfa (rata-rata ± SD) (Nymph (mean ± SD))
LC <sub>15</sub> (2,11)	1	15,56	967,67 ± 168,58	15,56	793,67 ± 110,19
	2	28,89	820,67 ± 355,42	30,00	1197,33 ± 110,19
	3	44,44	1090,00 ± 318,48	47,78	677,67 ± 273,96
LC <sub>25</sub> (3,62)	1	23,33	839,67 ± 329,02	26,67	590,33 ± 543,66
	2	50,00	472,67 ± 214,72	53,33	360,00 ± 93,14
	3	75,56	173,33 ± 56,87	75,56	278,00 ± 63,24
LC <sub>40</sub> (6,76)	1	42,22	597,33 ± 406,33	47,78	804,67 ± 350,73
	2	62,22	201,67 ± 39,27	83,33	152,33 ± 24,91
	3	94,44	140,67 ± 41,29	88,89	160,00 ± 41,04
Kontrol	1	3,33	1228,00 ± 387,60	2,22	1259,67 ± 484,66
	2	3,33	1181,00 ± 214,47	2,22	1426,67 ± 145,31
	3	2,22	997,33 ± 263,00	5,56	1219,33 ± 238,14

x: Nilai rata-rata dari tiga ulangan (mean of three replicates).

**Tabel 3.** Pengaruh konsentrasi dan frekuensi aplikasi subletal insektisida fipronil terhadap populasi nimfa F1 wereng batang coklat

**Table 3.** The effect of concentration and frequency of sublethal application of fipronil insecticide on the F1 brown planthopper nymph population

Konsentrasi subletal (Sublethal concentration) (ppm)	Frekuensi aplikasi (Application frequency)	Rerata jumlah nimfa (Average number of nymph) (x ± SD)
LC <sub>15</sub> (2,11)	1	880,67 ± 159,09 abc
	2	1009,00 ± 412,69 ab
	3	883,33 ± 306,12 abc
LC <sub>25</sub> (3,26)	1	715,00 ± 250,43 bcd
	2	504,83 ± 152,16 cde
	3	225,67 ± 78,62 de
LC <sub>40</sub> (6,76)	1	701,00 ± 357,97 bcd
	2	177,00 ± 39,94 e
	3	150,33 ± 38,31 e
Kontrol	1	1242,83 ± 393,87 a
	2	1303,83 ± 212,02 a
	3	1108,33 ± 255,22 ab

Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5%. (Means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD test at α = 0.05).

Pengaruh aplikasi hanya terdapat pada aplikasi dengan frekuensi tiga kali pada perlakuan LC<sub>25</sub> dan LC<sub>40</sub> ( $F = 4,12$ ;  $p = 0,021$ ). Hal tersebut ditandai dengan populasi WBC berkurang secara signifikan pada kedua perlakuan tersebut. Konsentrasi subletal yang sangat rendah seperti LC<sub>15</sub> terbukti kurang efektif untuk menekan populasi WBC, meskipun dilakukan beberapa kali aplikasi.

#### Pengaruh varietas, konsentrasi, dan frekuensi aplikasi subletal insektisida fipronil terhadap penetasan telur WBC

Konsentrasi subletal fipronil dan varietas padi berpengaruh terhadap persentase penetasan telur WBC ( $F = 5,67$ ;  $p = 0,012$ ) (Tabel 4). Persentase penetasan telur tertinggi terdapat pada konsentrasi LC<sub>15</sub> pada varietas IR64 yakni  $81,81 \pm 3,15$  dan Ciherang, yakni  $82,55 \pm 3,06$  (Tabel 4). Persentase penetasan telur tersebut berbeda nyata dengan konsentrasi subletal LC<sub>25</sub>, LC<sub>40</sub>, dan kontrol pada kedua varietas. Frekuensi dan varietas padi berpengaruh terhadap persentase penetasan telur WBC ( $F = 6,88$ ;  $p = 0,004$ ) (Tabel 5). Persentase penetasan telur tertinggi terdapat pada frekuensi aplikasi 1 kali pada varietas IR64 dan Ciherang, berbeda nyata dengan persentase penetasan telur pada frekuensi 2 dan 3 kali. Hubungan antara

konsentrasi dan frekuensi aplikasi subletal insektisida fipronil terhadap persentase penetasan telur WBC, menunjukkan bahwa semua frekuensi aplikasi pada konsentrasi LC<sub>15</sub>, frekuensi aplikasi 1 dan 2 kali pada konsentrasi LC<sub>25</sub>, serta frekuensi 1 kali pada konsentrasi LC<sub>40</sub> berbeda nyata dengan kontrol (Tabel 6).

#### PEMBAHASAN

Insektisida fipronil pada konsentrasi subletal masih dapat menyebabkan mortalitas yang tinggi terhadap WBC. Hanya saja efektifitas tersebut berhubungan dengan frekuensi penyemprotan. Seperti pada LC<sub>40</sub> insektisida fipronil ketika diaplikasikan tiga kali, sangat efektif mengurangi populasi WBC pada varietas IR64 dan Ciherang dengan persentase mortalitas mencapai 94,44% dan 88,89% (Tabel 2). Tiga aplikasi lebih baik daripada satu atau dua aplikasi dalam mengendalikan WBC pada IR64 (Horgan et al. 2021). Hanya saja pada konsentrasi subletal, satu kali aplikasi insektisida fipronil tidak memberikan paparan yang cukup kuat untuk membunuh WBC. Aplikasi tunggal cartap hidroklorida, sipermetrin, atau buprofezin mengurangi kepadatan WBC pada IR62 (Horgan & Peñalver-Cruz 2022).

Hal ini mempertegas pengaruh frekuensi penyemprotan pada konsentrasi subletal. Wu et

**Tabel 4.** Persentase penetasan telur wereng batang cokelat pada beberapa varietas dan konsentrasi subletal insektisida fipronil

**Table 4.** Percentage of brown planthopper egg hatching in several varieties and sublethal concentrations of fipronil insecticide

Konsentrasi subletal (Sublethal concentration) (ppm)	Persentase penetasan telur (Percentage of egg hatching) (%)	
	IR64 (rata-rata (mean) ± SD)	Ciherang (rata-rata (mean) ± SD)
LC <sub>15</sub> (2,11)	81,81 ± 3,15 ab	82,55 ± 3,06 a
LC <sub>25</sub> (3,26)	73,32 ± 3,02 cd	77,47 ± 6,33 bc
LC <sub>40</sub> (6,76)	74,56 ± 6,16 cd	79,57 ± 5,22 ab
Kontrol	71,34 ± 2,14 d	70,78 ± 5,06 d

Nilai pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan menurut uji Tukey pada tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$ ; SD: standard deviation (Means within a row or column followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD test at  $\alpha = 0.05$ ; SD: standard deviation).

**Tabel 5.** Persentase penetasan telur wereng batang cokelat pada beberapa varietas dan frekuensi aplikasi subletal insektisida fipronil

**Table 5.** Percentage of brown planthopper egg hatching in several varieties and frequencies of sublethal application of fipronil insecticide

Frekuensi aplikasi (Application frequency)	Persentase penetasan telur (Percentage of egg hatching) (%)	
	IR64 (rata-rata (mean) ± SD)	Ciherang (rata-rata (mean) ± SD)
1	78,47 ± 5,12 a	80,32 ± 4,00 a
2	73,20 ± 4,80 b	78,43 ± 6,63 b
3	74,11 ± 5,42 b	74,02 ± 7,26 b

Nilai-nilai pada baris dan kolom yang memiliki huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan berdasarkan uji lanjut Tukey pada taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$ ; SD: standard deviation (Means within rows and columns followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD test at  $\alpha = 0.05$ ; SD: standard deviation).

**Tabel 6.** Hubungan antara konsentrasi dan frekuensi aplikasi subletal insektisida fipronil terhadap persentase penetasan telur wereng batang coklat

**Table 6.** Relationship between concentration and frequency of sublethal application of fipronil insecticide on the percentage of egg hatching brown planthopper

Konsentrasi subletal (Sublethal concentration) (ppm)	Frekuensi aplikasi (Application frequency)	Persentase penetasan telur (%) (Percentage of egg hatching (%)) (rata-rata (mean) ± SD)
LC <sub>15</sub> (2,11)	1	81,13 ± 3,36 abc
	2	82,70 ± 3,89 a
	3	82,71 ± 1,71 a
LC <sub>25</sub> (3,26)	1	79,26 ± 3,57 bc
	2	76,25 ± 5,10 abc
	3	70,40 ± 2,62 d
LC <sub>40</sub> (6,76)	1	83,63 ± 1,985 a
	2	73,97 ± 5,736 cd
	3	73,59 ± 3,527 cd
Kontrol	1	73,55 ± 1,74 cd
	2	70,07 ± 2,50 d
	3	69,55 ± 4,96 d

Huruf yang sama pada baris atau kolom menunjukkan perbedaan tidak signifikan menurut uji Tukey pada  $\alpha = 5\%$ ; SD: *standard deviation*. (Means within a row or column followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD test at  $\alpha = 0.05$ ; SD: *standard deviation*).

al. (2003) juga menyatakan bahwa semakin tinggi frekuensi aplikasi, semakin besar tekanan selektif yang diberikan terhadap populasi WBC sehingga efektivitas penekanan populasi juga meningkat. Durasi paparan adalah faktor penting pada toksikologi insektisida, selain konsentrasi atau dosis (Bantz et al. 2018). Semakin lama durasi paparan, efek toksik akan semakin besar karena akumulasi zat beracun, bahkan konsentrasi rendah pun dapat menyebabkan kematian (Bonmatin et al. 2015). Hal ini terjadi karena akumulasi zat beracun di dalam tubuh hama seiring waktu, yang akhirnya mencapai tingkat mematikan.

Aplikasi subletal fipronil konsentrasi LC<sub>25</sub> dan LC<sub>15</sub> dengan frekuensi lebih dari satu kali dapat menyebabkan laju peningkatan populasi WBC generasi selanjutnya (Tabel 3). Aplikasi yang berulang akan meningkatnya toksisitas WBC (Horgan et al. 2021). Temuan ini bertentangan dengan temuan sebelumnya. Paparan insektisida dosis rendah dapat bermanfaat bagi beberapa serangga (Bantz et al. 2018). Fenomena tersebut dikenal sebagai hormesis. Menurut Cutler & Guedes (2017), hormesis didefinisikan sebagai respons dosis bifasik, yang dicirikan oleh penghambatan dosis tinggi dan stimulasi dosis rendah selama atau setelah paparan racun. Studi tentang hormesis yang diinduksi insektisida menunjukkan bahwa insektisida dosis rendah merangsang proses biologis untuk meningkatkan kelangsungan hidup dan reproduksi serangga (Zhao et al. 2018). WBC memiliki kemampuan

untuk beradaptasi atau memetabolisme insektisida pada konsentrasi yang lebih rendah (Wu et al. 2018). Hal tersebut mengakibatkan populasi WBC meningkat setelah dilakukan penyemprotan dengan dosis subletal, fenomena yang dikenal dengan resurgensi. Deltametrin meningkatkan tingkat reproduksi WBC ketika terpapar dosis yang tidak mematikan (Anand et al. 2021).

Paparan insektisida fipronil konsentrasi subletal memicu peningkatan persentase petasan telur WBC pada varietas IR64 dan Ciherang. Fipronil mengurangi oviposisi dan kelangsungan hidup nimfa pada kedua varietas (R62 dan IR64) ketika tanaman diberi perlakuan tiga jenis bahan aktif insektisida (Horgan et al. 2021). Padahal peningkatan fekunditas WBC setelah terpapar konsentrasi subletal sudah dilaporkan pada beberapa insektisida. Paparan insektisida Triflumezopyrim menghambat reproduksi WBC pada LC<sub>50</sub>/LC<sub>90</sub>, tetapi tidak pada LC<sub>10</sub> (Li et al. 2021). Perlakuan emamektin benzoat pada tingkat subletal menghasilkan perubahan besar dalam kebugaran betina WBC termasuk peningkatan pematangan telur dan oviposisi (Gao et al. 2025). Dosis subletal sulfoxaflor, insektisida sulfoximine, meningkatkan kesuburannya (Xu et al. 2016). Lebih lanjut menurut Gao et al. (2025) meningkatnya kebugaran reproduksi dihasilkan dari peningkatan regulasi gen kunci yang terlibat dalam regulasi hormon juvenil, termasuk *juvenile hormone acid methyltransferase* (JHAMT) dan Krüppel homolog 1 (Kr-h1) yang dipicu oleh emamektin benzoat dan

penurunan regulasi ekspresi allatostatin (AstA) dan reseptor allatostatin (AstAR). Aplikasi insektisida pada padi yang resisten akan berfungsi secara sinergis untuk mengurangi kepadatan populasi WBC dan meningkatkan hasil.

Frekuensi aplikasi insektisida fipronil memicu peningkatan persentase petasan telur. Hal yang sama juga di laporkan peneliti sebelumnya. Frekuensi aplikasi mempengaruhi keberhasilan insektisida dalam mengurangi kepadatan WBC. Sipermetrin hanya efektif ketika diaplikasikan tiga kali. Terdapat kecenderungan deltametrin untuk meningkatkan kepadatan biomassa, terutama setelah aplikasi berulang. Karbofuran mengurangi kepadatan WBC di bawah kontrol IR62 hanya ketika diaplikasikan tiga kali (Horgan et al. 2021).

Penggunaan varietas IR64 dan Ciherang ternyata tidak berpengaruh terhadap mortalitas dan persentase penetasan telur WBC. Kedua varietas padi yang digunakan dalam penelitian ini, IR64 dan Ciherang, tergolong varietas tahan terhadap WBC (Triwidodo et al. 2024). Padahal beberapa penelitian melaporkan kultivar padi yang digunakan berpengaruh terhadap laju reproduksi WBC jika digunakan secara bersamaan dengan insektisida. Laju reproduksi WBC tertinggi terdapat pada tanaman padi yang dipapar insektisida triazofos (Yin et al. 2008). Awaluddin (2010) melaporkan peningkatan signifikan populasi WBC pada varietas Intani 2 segera setelah aplikasi insektisida deltametrin pada konsentrasi  $LC_{10}$ . Aplikasi imidakloprid, triazofos, dan buprofezin meningkatkan kandungan gula terlarut pada tanaman padi, sedangkan tingkat asam oksalat dengan resistensi terhadap WBC menurun (Wu et al. 2003a). Chelliah & Heinrichs (1980) mengemukakan bahwa tingkat reproduksi dan penetasan telur WBC dapat meningkat ketika serangga tersebut mengonsumsi tanaman padi yang telah disemprot dengan insektisida, seperti metilparation, sipermetrin, dan fenvalerat dalam dosis subletal. Wu et al. (2020) menambahkan bahwa peningkatan reproduksi atau kebugaran ini kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya aktivitas makan WBC dalam menyerap cairan tanaman. Efek pestisida pada biokimia tanaman bervariasi tergantung kultivar padi (Wu et al. 2003b). Aplikasi insektisida profilaksis dapat mengganggu populasi WBC dan mengurangi produktivitas dan profitabilitas padi yang resisten (Horgan & Peñalver-Cruz 2022).

Penelitian ini menunjukkan bahwa praktik penggunaan insektisida fipronil di bawah dosis anjuran (subletal) oleh petani, terlepas dari frekuensi aplikasinya, merupakan pemicu utama terjadinya resurgensi WBC di lapangan. Lebih lanjut, paparan

fipronil subletal terbukti mampu mematahkan mekanisme pertahanan varietas padi resisten, seperti IR64 dan Ciherang karena insektisida dosis rendah justru menstimulasi proses biologis hama untuk meningkatkan keberhasilan penetasan telur dan reproduksi generasi berikutnya. Oleh karena itu, strategi pengelolaan hama terpadu (PHT) ke depannya harus secara tegas menekankan ketepatan dosis aplikasi dan menghindari penyemprotan profilaksis guna mempertahankan efektivitas varietas tahan serta mencegah terjadinya ledakan populasi hama akibat fenomena hormoligosis.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor varietas padi (IR64 dan Ciherang) tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam menahan laju peningkatan populasi nimfa WBC ketika terpapar insektisida subletal. Sebaliknya, konsentrasi dan frekuensi aplikasi insektisida fipronil pada tingkat subletal terbukti menjadi faktor dominan yang memicu peningkatan populasi nimfa pada generasi pertama, terutama pada konsentrasi sangat rendah ( $LC_{15}$ ) dengan frekuensi aplikasi berulang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan pendidikan dan dana yang diterima melalui beasiswa LPDP 2020 (20200821303803/TRP/D/BUDI-2020).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anand K, Nanda K, Anusha, Srinivasa R. 2021. Effect of insecticides on the feeding and fecundity of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Journal of Rice Research*. 14:34–39.
- Awaluddin. 2010. *Pengaruh Aplikasi Konsentrasi Subletal Deltametrin terhadap Rsurjensi Nilaparvata lugens*. Thesis. Universitas Gadjah Mada.
- Awaluddin, Dadang, Anwar R, Giyanto. 2024. Effects of sublethal fipronil insecticide concentrations on fitness and abundance profile of endosymbiont microbial species *Nilaparvata lugens*. *Biodiversitas*. 25:998–1006. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250312>.
- Bantz A, Camon J, Froger J-A, Goven D, Raymond V. 2018. Exposure to sublethal doses of insecticide and their effects on insects at cellular and physiological levels. *Current Opinion in Insect Science*. 30:73–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.09.008>.
- Bendahou N, Bounias M, Fleche C. 1999. Toxicity of cypermethrin and fenitrothion on the hemolymph carbohydrates, head acetylcholinesterase, and thoracic muscle  $Na^+$ ,  $K^+$ -ATPase of emerging honeybees (*Apis mellifera mellifera* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 44:139–146. DOI: <https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1811>.

- Bhatt P, Gangola S, Ramola S, Bilal M, Bhatt K, Huang Y, Zhou Z, Chen S. 2023. Insights into the toxicity and biodegradation of fipronil in contaminated environment. *Microbiology Research*. 266:127247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127247>.
- Bonmatin JM, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser DP, Krupke C, Liess M, Long E, Marzaro M, Mitchell EA. 2015. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research*. 22:35–67. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3332-7>.
- Chelliah S, Heinrichs EA. 1980. Factors affecting insecticide-induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice. *Environmental Entomology*. 9:773–777. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/9.6.773>.
- Cutler GC, Guedes RNC. 2017. Occurrence and Significance of Insecticide-Induced Hormesis in Insects. In: Stephen et al. (Eds.) *Pesticide Dose: Effects on the Environment and Target and Non-Target Organisms*. Vol. 1249. (ACS Symposium Series). pp. 101–119. Washington DC: American Chemical Society. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2017-1249.ch008>.
- Fernandes MES, Alves FM, Pereira RC, Aquino LA, Fernandes FL, Zanuncio JC. 2016. Lethal and sublethal effects of seven insecticides on three beneficial insects in laboratory assays and field trials. *Chemosphere*. 156:45–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.115>.
- Gao Y, Su S-C, Xing J-Y, Liu Z-Y, Nässel DR, Bass C, Gao C-F, Wu S-F. 2025. Pesticide-induced resurgence in brown planthopper is mediated by action on a suite of genes that promote juvenile hormone biosynthesis and female fecundity. *eLife*.12:RP91774. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.91774.2>.
- He Y, Du G, Xie S, Long X, Sun G, Zhu S, He X, Liu Y, Zhu Y, Chen B. 2022. The insecticidal efficacy and physiological action mechanism of a novel agent GC16 against *Tetranychus pueraricola* (Acari: Tetranychidae). *Insects*. 13:433. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13050433>.
- He Y, Zhao J, Zheng Y, Weng Q, Biondi A, Desneux N, Wu K. 2013. Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. *International Journal of Biological Sciences*. 9:246–255. DOI: <https://doi.org/10.7150/ijbs.5762>.
- Heinrichs EA, Barrion AT. 2004. *Rice Feeding Insects and Selected Natural Enemies in West Africa, Biology, Ecology Identification*. Los Baños: International Rice Research Institute.
- Horgan FG, Peñalver-Cruz A. 2022. Compatibility of insecticides with rice resistance to planthoppers as influenced by the timing and frequency of applications. *Insects*. 13:106. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13020106>.
- Horgan FG, Peñalver-Cruz A, Almazan MLP. 2021. Rice resistance buffers against the induced enhancement of brown planthopper fitness by some insecticides. *Crops*. 1:166–184. DOI: <https://doi.org/10.3390/crops1030016>.
- Iftikhar A, Hafeez F, Aziz MA, Hashim M, Naeem A, Yousaf HK, Saleem MJ, Hussain S, Hafeez M, Ali Q, et al. 2022. Assessment of sublethal and transgenerational effects of spirotetramat, on population growth of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae). *Frontiers in Physiology*. 13:1014190. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1014190>.
- Kim SE, Kim HK, Kim GH. 2024. Sublethal effects of spirotetramat, cyantraniliprole, and pymetrozine on *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Insects*. 15:247. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects15040247>.
- Koskinioti P, Ras E, Augustinos AA, Tsiamis G, Beukeboom LW, Caceres C, Bourtzis K. 2019. The effects of geographic origin and antibiotic treatment on the gut symbiotic communities of *Bactrocera oleae* populations. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 167:197–208. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12764>.
- Li Y, Liu J, Sun W, Liu F. 2021. Effects of triflumezopyrim on the reproduction of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 24:850–857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.07.012>.
- Liang H-Y, Yang X-M, Sun L-J, Zhao C-D, Chi H, Zheng C-Y. 2021. Sublethal effect of spirotetramat on the life table and population growth of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Entomologia Generalis*. 41:219–231. DOI: <https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0902>.
- Ling S, Zhang R. 2011. Effect of fipronil on brain and muscle ultrastructure of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74:1348–1354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.03.011>.
- Lutz AL, Bertolaccini I, Scotta RR, Curis MC, Favaro MA, Fernandez LN, Sánchez DE. 2018. Lethal and sublethal effects of chlorantraniliprole on *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science*. 74:2817–2821. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5070>.
- Margus A, Piironen S, Lehmann P, Tikka S, Karvanen J, Lindström L. 2019. Sublethal pyrethroid insecticide exposure carries positive fitness effects over generations in a Pest Insect. *Scientific Reports*. 9:11320. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47473-1>.
- Milone JP, Tarpay DR. 2021. Effects of developmental exposure to pesticides in wax and pollen on honey bee (*Apis mellifera*) queen reproductive phenotypes. *Scientific Reports*. 11:1020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80446-3>.
- Müller C. 2018. Impacts of sublethal insecticide exposure on insects — Facts and knowledge gaps. *Basic and Applied Ecology*. 30:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.05.001>.
- Pino-Otín MR, Ballester D, Navarro E, Mainar AM, Val J. 2021. Effects of the insecticide fipronil in freshwater model organisms and microbial and periphyton communities. *Science of the Total Environment*. 764:142820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142820>.
- Rosa ME, Oliveira RS, de Faria Barbosa R, Hyslop S, Dal Belo CA. 2024. Recent advances on the influence of fipronil on insect behavior. *Current Opinion in Insect Science*. 65:101251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2024.101251>.

- Tian Y, Gao Y, Chen Y, Liu G, Ju X. 2019. Identification of the fipronil resistance associated mutations in *Nilaparvata lugens* GABA receptors by molecular modeling. *Molecules*. 24:4116. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24224116>.
- Triwidodo H, Nurmansyah A, Sartiami D, Amanatillah NE, Meliyana, Lukvitasari L. 2024. Ketahanan enam galur padi sawah (*Oryza sativa* L) terhadap wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) asal Patokbeusi, Subang. *Jurnal Entomologi Indonesia* 20:240. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.20.3.240>.
- Vryzas Z. 2018. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 4:5–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.001>.
- Wu H-M, Feng H-L, Wang G-D, Zhang L-L, Zulu L, Liu Y-H, Zheng Y-L, Rao Q. 2022. Sublethal effects of three insecticides on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Agronomy*. 12:1334. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061334>.
- Wu J-C, Xu Jian-xiang, Yuan S, Liu J, Jiang Y, Xu Jun-feng. 2003a. Pesticide-induced susceptibility of rice to brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 100:119–126. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00854.x>.
- Wu J, Ge L, Liu F, Song Q, Stanley D. 2020. Pesticide-induced planthopper population resurgence in rice cropping systems. *Annual Review of Entomology*. 65:409–429. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025215>.
- Wu J, Lu J, Lu H, Lin Y, Wilson PC. 2015. Occurrence and ecological risks from fipronil in aquatic environments located within residential landscapes. *Science of the Total Environment*. 518–519:139–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.103>.
- Wu JC, Xu JF, Feng XM, Liu JL, Qiu HM, Luo SS. 2003b. Impacts of pesticides on physiology and biochemistry of rice. *Scientia Agricultura Sinica*. 36:536–541.
- Wu S-F, Zeng B, Zheng C, Mu X-C, Zhang Y, Hu J, Zhang S, Gao C-F, Shen J-L. 2018. The evolution of insecticide resistance in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) of China in the period 2012-2016. *Scientific Reports*. 8:4586. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22906-5>.
- Xu L, Zhao C-Q, Zhang Y-N, Liu Y, Gu Z-Y. 2016. Lethal and sublethal effects of sulfoxaflor on the small brown planthopper *Laodelphax striatellus*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 19:683–689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.06.013>.
- Yin J-L, Xu H-W, Wu J-C, Hu J-H, Yang G-Q. 2008. Cultivar and insecticide applications affect the physiological development of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Environmental Entomology*. 37:206–212. DOI: [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[206:CAIAAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[206:CAIAAT]2.0.CO;2)
- Zhang R, Dong J, Chen J, Ji Q, Cui J. 2013. The sublethal effects of chlorantraniliprole on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Integrative Agriculture*. 12:457–466. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60246-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60246-4).
- Zhang Y-C, Feng Z-R, Zhang S, Pei X-G, Zeng B, Zheng C, Gao C-F, Yu X-Y. 2020. Baseline determination, susceptibility monitoring and risk assessment to triflumezopyrim in *Nilaparvata lugens* (Stål). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 167:1–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104608>.
- Zhang Y-C, Song X-Y, Li Y, Zhuang Z-X, Ye W-N, Liu Z-Y, Gao C-F. 2025. Susceptibility, resistance risk and sublethal effect to fenmezoditiaz, a novel mesoionic insecticide, in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 213:106540. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2025.106540>.
- Zhao Y, Wang Q, Ding J, Wang Y, Zhang Z, Liu F, Mu W. 2018. Sublethal effects of chlorfenapyr on the life table parameters, nutritional physiology and enzymatic properties of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 148:93–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.04.003>.